

© Коллектив авторов, 2014

А. В. Дунин, Н. А. Нерозин, Н. Р. Тогаева, С. В. Хамьянов, В. В. Шаповалов

ВЫДЕЛЕНИЕ СТРОНЦИЯ-82 – СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАДИОФАРМАКОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

Государственный научный центр РФ — Физико-энергетический институт им. А. И. Лейпунского (ГНЦ РФ-ФЭИ), Обнинск, Калужской обл., Россия

Описан метод получения стронция-82, который находит применение в ядерной медицине для изготовления генераторов рубидия-82, применяемого для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний методом позитронно-эмиссионной томографии, который заключается в облучении природного металлического рубидия в пучке протонов с энергией от 40 до 100 МэВ и последующем радиохимическом выделении образовавшегося стронция-82. Метод позволяет проводить безопасную переработку облученной мишени с одновременной утилизацией металлического рубидия и будет использован для организации производства стронция-82 в ГНЦ РФ-ФЭИ.

Ключевые слова: ядерная медицина; стронций-82; рубидий-82; экстракционная хроматография; ионный обмен.

Стронций-82 находит широкое применение в ядерной медицине для изготовления медицинских генераторов стронций-82/рубидий-82. Рубидий-82 применяется для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний методом позитронно-эмиссионной томографии (пока в основном в США) [1, 2]. Наиболее производительный метод получения стронция-82 — облучение металлического рубидия в пучке протонов с энергией от 40 до 100 МэВ по ядерным реакциям $^{85}\text{Rb}(p,4n)^{82}\text{Sr}$ и $^{87}\text{Rb}(p,6n)^{82}\text{Sr}$ [3]. Однако выделение стронция-82 из металлического рубидия является сложным процессом. В работе [3] описан метод выделения стронция-82, который включает растворение облученного рубидия в спирте, перевод его в хлорид, отгонку спирта и разделение стронция и рубидия на катионообменной смоле. Этот метод выделения стронция-82 из облученного металлического рубидия является длительным, трудоемким и опасным, особенно при переработке крупных мишеней (50 г и более). Возможно воспламенение рубидия, спирта и водорода. Для преодоления упомянутых недостатков в работах [4, 5] предложен метод выделения стронция-82, основанный на его сорбции различными поверхностями, которые находятся в контакте с расплавленным облученным металлическим рубидием. Материалом поверхности может быть нержавеющая сталь, тантал, ниобий, вольфрам, молибден, никель или благородные металлы. Сорбцию проводят при температуре сорбирующей поверхности 275 – 350 °С. Стронций смывают с поверхности спиртами, водой и/или водными растворами минеральных кислот.

Недостатком этой методики является то, что в ней не рассматривается вопрос дальнейшей утилизации облученного рубидия. Общий недостаток обеих работ — отсутствие дальнейшей очистки целевого продукта от активных и неактивных примесных катионов, что делает невозможным использование его для медицинских целей.

Целью нашей работы является разработка процесса переработки мишеней из облученного металлического рубидия, лишенного вышеупомянутых недостатков. Нами был предложен вариант выделения стронция-82, состоящий из последовательности операций, представленных на рисунке.

Выделение стронция-82 включало следующие операции: обработку облученной мишени из металлического рубидия закисью азота; растворение образовавшихся солей в 3,0 – 4,5 М азотной кислоте; разделение стронция и рубидия на колонке со стронций-специфическим сорбентом Sr Resin на основе 4,4'(5')-ди(*трет*-бутилциклогексано)-18-краун-6, нанесенного на твердый носитель полиакрилатной структуры (смола Sr Resin фирмы Eichrom, США) [6], при этом стронций-82 сорбируется на колонке. На этой колонке происходит эффективная очистка раствора стронция-82 от активных и неактивных примесных катионов (смола хорошо себя зарекомендовала также в процессах выделения и очистки стронция-89 и стронция-90 [7 – 9]). Окончательную очистку стронция-82 проводят на колонке с катионообменной смолой. Заключительная стадия процесса — кондиционирование раствора стронция-82 по кислотности и объемной активности.



Блок-схема процесса выделения стронция-82.

Экспериментальная часть

Определение активности стронция-82 и содержания радионуклидных примесей проводят на полупроводниковом двухканальном гамма-спектрометре фирмы “Canberra” (внесен в Госреестр СИ под № 1850404), который включает в себя:

детектор из германия высокой чистоты (GeHP), коаксиальный, заключенный вместе с предусилителем в вакуумированный криостат, диапазон регистрируемых энергий рентгеновского и гамма-излучения от 50 до 3000 кэВ, предел относительной погрешности характеристики преобразования 0,07 %,

детектор GeHP, заключенный вместе с предусилителем в вакуумированный криостат с тонким бериллиевым окном, диапазон регистрируемых энергий рентгеновского и гамма-излучения от 3 до 1000 кэВ, предел относительной погрешности характеристики преобразования 0,07 %.

При проведении анализа используются вспомогательные средства:

Технические характеристики стронция-82

Наименование показателя	Норма
Удельная активность радионуклида стронция-82, ТБк/г (Ки/г), не менее	0,9(25)
Объемная активность радионуклида стронция-82, ГБк/мл (мКи/мл), не менее	2,2(60)
Содержание химических примесей в сумме, мкг/см ³ , не более	20
Содержание радионуклидных примесей, мКи/мКи ⁸² Sr, не более	
рубидий-83	0,0015
рубидий-84	0,0001
рубидий-86	0,0015
стронций-85	0,0001
Концентрация HCl или HNO ₃	0,05 – 0,5

набор источников фонового излучения радионуклидных закрытых спектрометрических эталонных ОСГИ-3-2, зарегистрированных в Госреестре СИ под № 27478 – 04;

свинцовая защита детектора толщиной 50 мм.

Для определения содержания неактивных примесей (и количества стронция-82 для определения его удельной активности) используется атомно-эмиссионный метод с помощью исп-масс-спектрометра Nex ION 300D (с индукционно-связанной плазмой и функциями двойного назначения производства фирмы Perkin Elmer).

Описание процесса

Мишень из нержавеющей стали, содержащую до 50 г облученного на протонном ускорителе металлического рубидия, помещают в изолирующую камеру с инертной атмосферой (аргон). С помощью электропечи мишень разогревают до температуры 50 – 80 °С, при этом рубидий переходит в расплавленное состояние. С помощью вакуума расплавленный рубидий для его утилизации передают в реактор из нержавеющей стали, нагретый до 50 – 60 °С, который также находится в изолирующей камере. В реактор подают закись азота порциями, поддерживая температуру в реакторе не выше 100 °С до тех пор, пока не будет наблюдаться рост температуры в реакторе после подачи свежей порции закиси азота. После того как реактор охладится до комнатной температуры, в него подают 500 мл 3,0 – 4,5 М азотной кислоты для растворения образовавшихся солей. Полученный раствор подают на колонку со смолой Sr Resin. Объем колонки 50 см³, скорость подачи раствора 40 – 60 мл/ч, размер частиц сорбента 50 – 100 мкм. Колонку промывают 500 мл 3,0 – 4,5 М раствора азотной кислоты. Скорость подачи раствора 60 – 70 мл/ч. Затем стронций-82 десорбируют 500 мл 0,05 – 0,2 М раствором азотной кислоты со скоростью 60 – 70 мл/ч.

Для очистки полученного раствора от возможной примеси краун-эфира, его подают на колонку с катионообменной смолой Dowex 50w × 8 (100 – 200 меш), при этом стронций-82 также сорбируется на колонке. Объем колонки 10 см³. Колонку промывают 50 мл 0,2 М раствора азотной кислоты. Десорбция стронция-82 ведется 50 мл 4 М раствора азотной кислоты. Скорость подачи растворов 25 – 30 мл/ч.

Раствор стронция-82 упаривают досуха и сухой остаток растворяют в требуемом объеме азотной или соляной кислоты необходимой концентрации.

Раствор рубидия после извлечения из него стронция-82 удаляют в спецканализацию.

В таблице представлены технические характеристики готового продукта, которые достигаются с использованием описанной технологии.

Работа выполнена в рамках Государственного контракта № 16.522.12.2012 с Министерством образования и науки.

ЛИТЕРАТУРА

1. T. Jones, *Appl. Radiat. Isot.*, **38**(3), 171 – 174 (1987).
2. K. Gould, *J. Nucl. Med.*, **32**(4), 579 – 606 (1991).
3. Б. Л. Жуйков, В. М. Коханюк, В. Н. Глущенко и др., *Радио-химия*, **36**(6), 494 – 498 (1994).
4. Патент России 2102808 (1998); *Бюл. изобрет.*, № 3 (1999).
5. Патент России 2356113 (2009); *Бюл. изобрет.*, № 14 (2009).
6. M. Dietz, E. Horwitz, *Appl. Radiat. Isot.*, **43**(9), 1093 – 1101 (1992).
7. О. Ю. Каюрин, Н. А. Нерозин, В. Б. Павлович и др., *Радио-химия*, **44**(3), 260 – 261 (2002).
8. Патент России 2187336 (2002); *Бюл. изобрет.*, № 23 (2002).
9. В. В. Шаповалов, В. В. Каньгин, А. Г. Нарышкин и др., *Радио-химия*, **48**(1), 49 – 50 (2006).

Поступила 05.08.13

EXTRACTION OF STRONTIUM-82: A RAW MATERIAL FOR THE PRODUCTION OF RADIOPHARMACEUTICALS

A. V. Dunin, N. A. Nerozin, N. R. Togaeva, S. V. Khamyanov, and V. V. Shapovalov

Leypunsky Institute for Physics and Power Engineering (IPPE), State Scientific Center of the Russian Federation, Obninsk, Kaluga region, Russia

A method of strontium-82 production is described. Sr-82 is used in nuclear medicine for the preparation of rubidium-82 generators that are used in PET diagnostics of cardiovascular diseases. The proposed method consists in irradiation of the natural metal rubidium in a proton beam at energies from 40 to 100 MeV, followed by radiochemical extraction of the produced strontium-82 isotope. Using the described method, it is possible to process the irradiated target safely along with simultaneous disposal of metal rubidium. This technology will be used for the organization of strontium-82 production at the IPPE (Obninsk).

Keywords: nuclear medicine, strontium-82, rubidium-82, extraction chromatography, ion exchange